

## PEMODELAN *CROSSFLOW* MIKROFILTRASI LARUTAN XANTAN BERDASARKAN ANALISIS DIMENSIONAL

Ika Amalia Kartika<sup>1</sup>, E.rliza Noor<sup>1</sup> dan Danu Ariono<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian IPB

<sup>2</sup>Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknik Industri ITB

### Abstract

*The present paper provides a model based on dimensional analysis that gives the basis for design of crossflow microfiltration processes. This gives the permeate flux ( $J_v$ ) in terms of pressure drop across the filtration membrane  $\Delta P$  and the velocity  $v$  of crossflow of the feed fluid in the membrane tubes. The model is compared with experimental results of xanthan solution. The model has certain similarities with previous ones and can be used for unit optimization.*

**Keywords :** microfiltration, crossflow, xanthan, dimensional analysis

### PENDAHULUAN

*Crossflow* filtrasi adalah sebuah metode filtrasi yang digunakan untuk menghilangkan air dari umpan yang mengandung senyawa-senyawa partikulat. Selama proses filtrasi ini, pada sisi bagian dalam membran umumnya terbentuk sebuah lapisan *fouling* yang stabil. Menurut Brambach (1989), pada seluruh bagian dalam membran ketebalan lapisan *fouling* ini relatif konstan. Hal ini menunjukkan bahwa penerapan metode *crossflow* filtrasi untuk proses-proses yang membutuhkan sistem penyaringan adalah *feasible*.

Selama ini, pemodelan perpindahan massa yang menerangkan fenomena deposisi lapisan *fouling* umumnya menunjukkan hasil prediksi fluks permeat yang kurang memuaskan (*under-predict permeate flux*). Hal ini dikarenakan proses *scouring* lapisan *fouling* oleh partikel-partikel berukuran besar atau *enhanced diffusivity* partikel-partikel yang kembali ke aliran curah menyebabkan *shear field* pada dinding membran (Fane *et al.*, 1982; Green dan Belfort, 1980; Zydney dan Colton, 1986).

Fluks permeat ( $J_v$ ) yang melalui sebuah membran, menurut Fane *et al.* (1982), umumnya diekspresikan menurut persamaan berikut,

$$J_v = \frac{\Delta P}{R_m + R_f}$$

$R_m$  dan  $R_f$  masing-masing adalah tahanan membran dan lapisan *fouling*.  $R_f$  umumnya merupakan fungsi dari kecepatan umpan ( $v$ ) dan tekanan transmembran ( $\Delta P$ ).

Lebih lanjut Fane *et al.* (1982) mengatakan bahwa dalam sistem mikrofiltrasi yang menangani fluida dengan ukuran partikel besar ( $\pm 20 \mu\text{m}$ ), dimana  $R_f$  lebih kecil dari  $R_m$ , fluks permeat tidak dipengaruhi oleh kecepatan umpan ( $v$ ) dan

berbanding lurus dengan  $\Delta P$ . Jika ukuran partikel kurang dari  $0.1 \mu\text{m}$ , fluks permeat umumnya tidak dipengaruhi oleh tekanan transmembran dan hanya dapat ditingkatkan dengan peningkatan kecepatan umpan. Pada keadaan tersebut fluks dikendalikan oleh perpindahan massa solut dari permukaan membran ke aliran curah (*mass-transfer controlled*). Tetapi agar proses pemisahan dapat berlangsung terus, perlakuan tekanan masih harus diterapkan.

Sampai saat ini, belum ada sebuah model yang representatif untuk memprediksi fenomena aliran-aliran dalam proses mikrofiltrasi dimana fluks permeat dipengaruhi oleh tekanan transmembran ( $\Delta P$ ) dan kecepatan umpan ( $v$ ).

Dalam paper ini diterangkan sebuah pengembangan model yang menghubungkan antara fluks permeat dengan kecepatan umpan dan tekanan transmembran.

### PENGEMBANGAN MODEL

Menurut Asaadi dan White (1992), interpretasi data fluks *steady state*, dimana pengaruh tekanan dan kecepatan umpan dipertimbangkan secara simultan dalam perhitungan, dapat dilakukan dengan membuat hubungan antara keduanya melalui analisis dimensional dari panjang, massa dan waktu.

Dari persamaan (1) diterangkan bahwa pada keadaan tunak, fluks permeat berbanding lurus dengan tekanan transmembran ( $\Delta P$ ) dan berbanding terbalik dengan tahanan membran ( $R_m$ ) dan tahanan lapisan *fouling* ( $R_f$ ). Dalam pendekatan analisis dimesional,  $R_f$  diasumsikan sebagai fungsi-fungsi dari kecepatan umpan ( $v$ ), tekanan transmembran ( $\Delta P$ ) dan densitas fluida ( $\rho$ ). Dari analisis faktorial dimensi-dimensi panjang, massa dan waktu ini akan menghasilkan dua besaran tak berdimensi, yaitu ( $R_f v / \Delta P$ ) dan ( $v^2 \rho / \Delta P$ ).

Grup ( $v^2\rho/\Delta P$ ) biasa disebut sebagai bilangan energi, yang merupakan kebalikan dari bilangan Euler. Sedang ( $R_f v/\Delta P$ ) merupakan  $v/J_f$  yaitu rasio antara fluks konveksi dengan fluks yang melalui lapisan *fouling* (Elmaleh dan Ghaffor, 1996).

Penghitungan hasil-hasil penelitian dalam bentuk kedua bilangan tak berdimensi tersebut akan menghasilkan suatu hubungan linier dengan bentuk persamaan sebagai berikut,

$$[R_f \cdot v/\Delta P] = A + B \cdot [v^2 \cdot \rho/\Delta P] \quad (2)$$

A dan B masing-masing adalah titik potong dan kemiringan dari persamaan tersebut.

Penyusunan kembali persamaan (2) akan menghasilkan persamaan dalam bentuk berikut,

$$R_f = [A \cdot \Delta P/v] + [B \cdot v \cdot \rho] \quad (3)$$

Secara fisik, persamaan (3) dapat diartikan bahwa ketebalan lapisan *fouling* yang terbentuk ( $R_f$ ) merupakan fungsi-fungsi dari laju pembentukan *fouling* ( $\Delta P/v$ ) dan  $Bv\rho$ , yang didefinisikan sebagai ukuran pengikisan/ pengurangan lapisan *fouling* oleh *wall shear*. *Wall shear* ini disebabkan oleh adanya aliran fluida dalam membran.

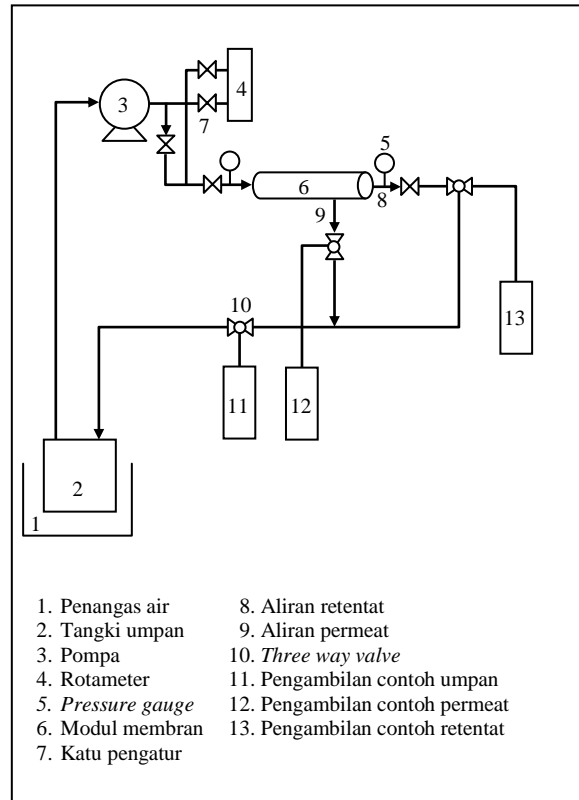
Hasil dari pengembangan model ini, menurut Asaadi dan White (1992), diharapkan dapat dijadikan dasar untuk optimasi parameter-parameter operasi dari suatu proses mikrofiltrasi.

## BAHAN DAN METODE

Gum xantan yang digunakan dalam percobaan adalah gum xantan berkualitas *food grade* (Austria, Jungbuzlauer). Larutan xantan dibuat dengan melarutkan xantan dalam air destilat bebas ion, kemudian diaduk menggunakan *shaker* selama 12 - 24 jam tergantung pada konsentrasi yang diinginkan.

Modul membran yang digunakan adalah *capillary* polisulfon dengan ukuran pori rata-rata 1  $\mu\text{m}$  (luas permukaan efektif  $\pm 26.39 \text{ cm}^2$ , diameter dalam membran 1.5 mm). Permeabilitas membran terhadap air kurang lebih 1116.9 l/atm.m<sup>2</sup>.jam. Unit operasi sistem *crossflow* mikrofiltrasi larutan xantan dapat dilihat pada Gambar 1.

Sistem operasi yang diterapkan pada seluruh percobaan adalah sistem operasi dengan mode siklus. Pada mode ini konsentrat dan permeat yang dihasilkan dialirkan kembali ke tangki umpan dengan tujuan untuk mempertahankan konsentrasi larutan umpan. Pengambilan sampel permeat dilakukan setelah periode waktu tertentu. Operasi dilakukan dengan perlakuan-perlakuan tekanan transmembran 0.5 - 3 atm, kecepatan *crossflow* umpan 0.1 - 1.5 m/detik, konsentrasi xantan 1 - 20 g/l dan temperatur 30°C.



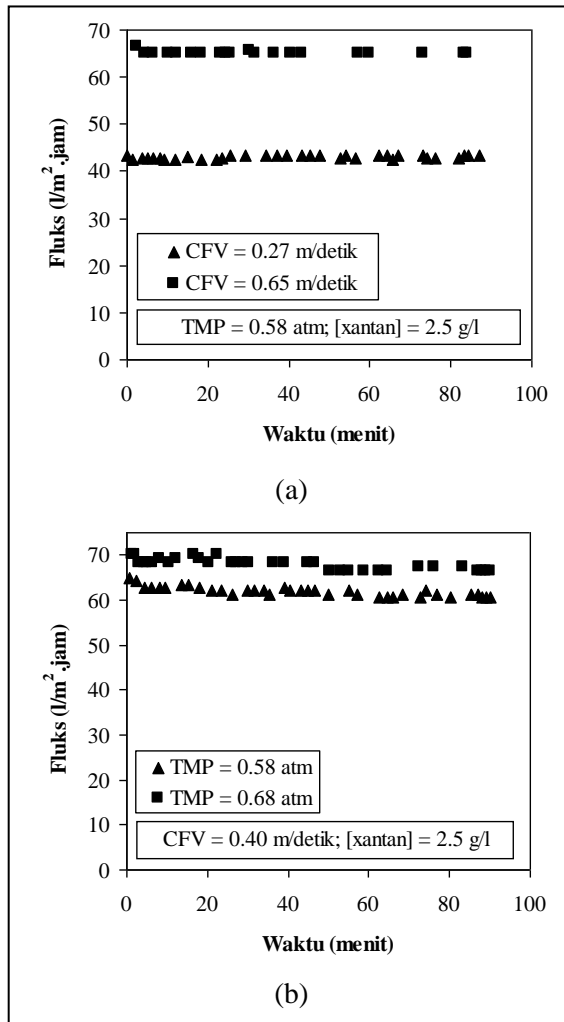
Gambar 1. Unit operasi *crossflow* mikrofiltrasi larutan xantan

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Pengaruh Waktu terhadap Fluks

Pada pengujian pengaruh waktu terhadap fluks permeat didapatkan hasil seperti pada Gambar 2a dan 2b. Dari gambar tersebut teramati bahwa selama kurang lebih 90 menit fluks permeat relatif berharga konstan. Hal ini menunjukkan bahwa pada *crossflow* mikro-filtrasi larutan xantan tidak terjadi *the long term fouling*. Proses relatif stabil dan tidak terjadi *fouling* yang berarti.

Keadaan tunak tercapai beberapa menit setelah operasi berlangsung. Dalam penelitian Charcosset dan Choplin (1996), keadaan tersebut tercapai setelah 3 menit. Dalam penelitian ini keadaan tersebut terjaga selama jangka waktu 90 menit, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2b. Fenomena tersebut, menurut Lo *et al.* (1996), tidak teramati pada penelitian-penelitian pemisahan protein dimana *fouling* dan penurunan fluks biasanya berlangsung secara kontinyu. Sedangkan dalam pemisahan larutan xantan, adsorpsi atau deposisi molekul-molekul xantan pada permukaan membran dan pembentukan lapisan gel terjadi secara singkat. Penurunan fluks permeat yang teramati pada konsentrasi tinggi disebabkan karena pengaruh polarisasi konsentrasi.



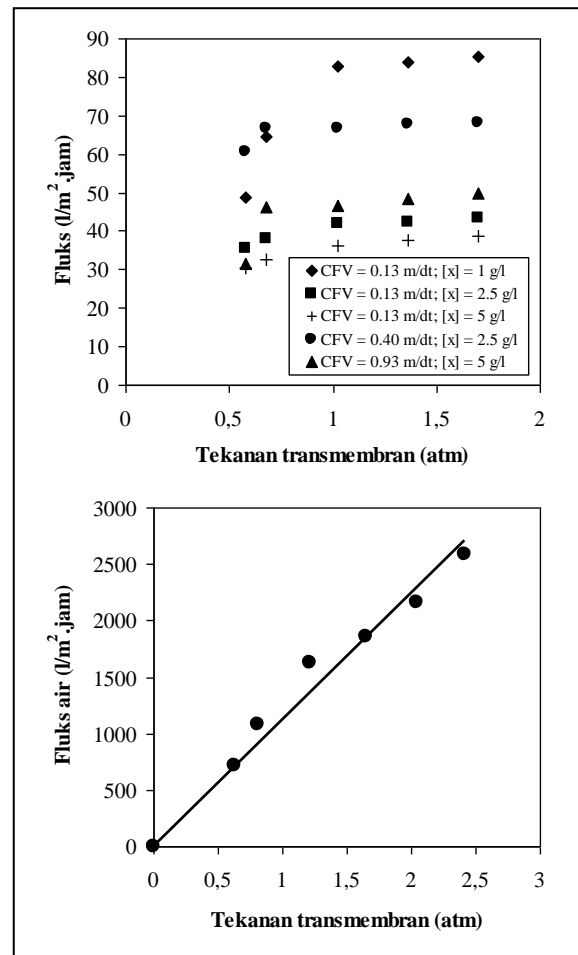
Gambar 2. Pengaruh waktu terhadap fluks

### Pengaruh Tekanan terhadap Fluks

Pengujian pengaruh tekanan transmembran terhadap fluks dilakukan pada berbagai perlakuan konsentrasi xantan dan kecepatan *crossflow* umpan. Konsentrasi xantan yang ditangani adalah 1, 2.5 dan 5 g/l dengan kecepatan *crossflow* umpan 0.13 - 0.93 m/detik. Data yang dihasilkan divisualisasikan seperti pada Gambar 3.

Dari Gambar 3 teramati bahwa pada tekanan transmembran kurang dari 1 atm fluks dipengaruhi oleh tekanan. Semakin besar tekanan transmembran, maka fluks semakin besar pula. Sedang pada tekanan lebih besar dari 1 atm fluks relatif konstan. Pada tekanan tersebut fluks permeat mencapai apa yang dinamakan dengan *limiting flux region*, dimana peningkatan tekanan tidak mempengaruhi fluks permeat. Kondisi ini sering dinamakan sebagai *pressure independent condition*. Peningkatan fluks permeat pada kondisi tersebut dikontrol oleh efisiensi peminimasian ketebalan lapisan batas dan peningkat-

an laju difusi balik molekul-molekul yang terpolarisasi. Salah satu sistem pengontrolan fluks permeat pada kondisi tersebut adalah dengan peningkatan kecepatan *crossflow* umpan dan penggunaan larutan umpan berkonsentrasi rendah. Dari Gambar 3 teramati bahwa fluks permeat pada perlakuan kecepatan *crossflow* umpan 0.4 m/detik lebih besar daripada 0.13 m/detik (konsentrasi xantan 2.5 g/l) dan 0.93 m/detik lebih besar daripada 0.13 m/detik (konsentrasi xantan 5 g/l), dan konsentrasi xantan 1 g/l lebih besar dari 2.5 g/l dan 5 g/l.



Gambar 3. Profil hubungan antara tekanan transmembran dengan fluks

Tekanan minimum yang terdapat pada daerah *pressure independent condition*, menurut Belfort *et al.* (1994), dapat ditetapkan sebagai tekanan operasi optimum. Dalam penelitian ini, kondisi tersebut ditetapkan pada tekanan antara 1 - 1.5 atm.

Dari Gambar 3 teramati pula bahwa dibandingkan dengan pengaruh tekanan terhadap fluks air, pengaruh tekanan terhadap fluks permeat adalah non linier. Fenomena tersebut terjadi akibat pengaruh polarisasi konsentrasi. Lapisan gel yang terbentuk

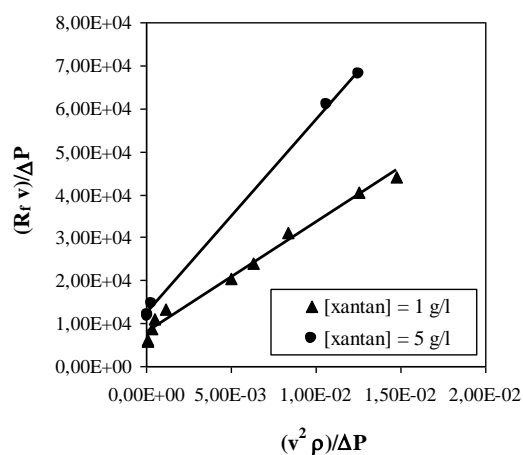
selama mikrofiltrasi akan semakin kompak dengan semakin besarnya tekanan yang diterapkan, sehingga peningkatan tekanan tidak akan memberikan pengaruh pada peningkatan fluks permeat.

### Pengujian Model

Pengujian model hasil pengembangan di atas pada hasil-hasil penelitian *crossflow* mikrofiltrasi larutan xantan menghasilkan persamaan (4) (untuk konsentrasi xantan 1 g/l) dan persamaan (5) (untuk konsentrasi xantan 5 g/l). Profil hubungan antara kedua bilangan tak berdimensi tersebut disajikan seperti pada Gambar 4.

$$[R_f \cdot v / \Delta P] = 7485.8 + 3 \times 10^6 [v^2 \cdot \rho / \Delta P] \quad (4)$$

$$[R_f \cdot v / \Delta P] = 12158 + 5 \times 10^6 [v^2 \cdot \rho / \Delta P] \quad (5)$$

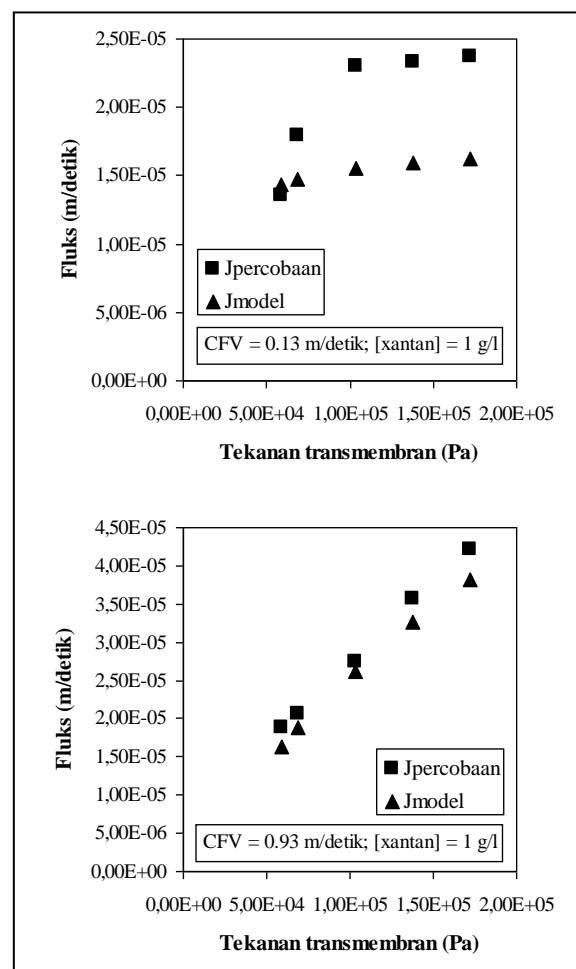


Gambar 4. Profil hubungan antara  $(v^2 \rho) / \Delta P$  dengan  $(R_f v) / \Delta P$  pada berbagai konsentrasi xantan

Dari persamaan (4) dan (5) teramati bahwa nilai A dan B berharga positif. Menurut Asaadi dan White (1992), nilai kemiringan B akan menggambarkan eksistensi pengaruh kecepatan *crossflow* umpan terhadap pembentukan lapisan *fouling*. Sedang titik potong A dapat dijadikan sebagai parameter untuk mencari kecepatan *crossflow* umpan kritis ( $v_c$ ) yaitu kecepatan umpan pada  $R_f = 0$ . Nilai kemiringan B negatif menunjukkan ada kecepatan *crossflow* umpan kritis yang menyebabkan pengaruh *fouling* dapat diabaikan. Sedang nilai kemiringan B positif menunjukkan fenomena yang sebaliknya. Berdasarkan hasil penelitian terlihat bahwa nilai kemiringan B positif artinya tidak ada kecepatan *crossflow* umpan kritis yang dapat menyebabkan pengaruh *fouling* diabaikan. Dari hasil penelitian teramati pula bahwa nilai kemiringan B dan titik potong A untuk konsentrasi xantan 1 g/l lebih kecil daripada konsentrasi xantan 5 g/l. Ini berarti bahwa

pengaruh kecepatan umpan terhadap fluks lebih besar pada konsentrasi xantan 1 g/l daripada 5 g/l. Fenomena tersebut juga teramati pada hasil-hasil penelitian Elmaleh dan Ghaffor (1996).

Dengan diketahuinya nilai-nilai A dan B, maka penghitungan nilai  $R_f$  dan  $J_v$  akan dapat dilakukan, yaitu dengan menggunakan persamaan (2) dan persamaan (1). Dalam perhitungan ini, nilai  $R_m$  dan  $\rho$  yang digunakan masing-masing adalah  $3.27 \times 10^8$  kg/m.detik (merupakan nilai kemiringan dari hubungan antara tekanan dan fluks air) dan  $1000$  kg/m<sup>3</sup> (Noor, 1994). Dari kedua hasil perhitungan tersebut maka dapat dilakukan prediksi terhadap hubungan antara fluks dengan tekanan pada berbagai kecepatan umpan. Profil hubungan antara kedua parameter tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Perbandingan antara fluks hasil model dengan percobaan

Dari Gambar 5 secara umum dapat diterangkan bahwa profil hubungan antara tekanan dengan fluks hasil pemodelan dan percobaan menunjukkan kecenderungan yang sama. Pada kecepatan *crossflow* umpan 0.13 m/detik, fluks cenderung konstan jika

tekanan yang diterapkan lebih dari 1 atm. Sedang pada kecepatan 0.93 m/detik, fluks cenderung meningkat. Pada kecepatan *crossflow* yang relatif besar, model memprediksi bahwa tahanan lapisan *fouling* adalah minimal. Adanya kesesuaian kecenderungan ini, menurut Asaadi dan White (1992), menunjukkan bahwa model hasil pengembangan tersebut dapat digunakan untuk optimasi proses.

Pada kecepatan *crossflow* umpan 0.13 m/detik fluks permeat hasil pemodelan memberikan hasil yang lebih kecil daripada fluks hasil percobaan. Menurut Belfort *et al.* (1994), perbedaan yang terjadi antara fluks hasil percobaan dengan fluks hasil pemodelan merupakan suatu hal umum yang terjadi. Penyimpangan ini biasanya diistilahkan dengan sebutan *flux paradox*. Cheryan (1986) menyatakan bahwa tidak ada alasan yang jelas untuk menerangkan penyimpangan tersebut. Menurut Charcosset dan Choplin (1996), untuk mengatasi masalah tersebut perlu dilakukan kajian yang lebih realistik terhadap *behavior* lapisan batas (*boundary layer*). Sedang Belfort *et al.* (1994) menyarankan untuk melakukan kajian lebih lanjut terhadap kelakuan sistem hidrodinamika fluida.

### KESIMPULAN

Model yang dikembangkan dalam paper ini merupakan hasil korelasi data-data *crossflow* mikrofiltrasi larutan xantan, yang diplotkan dalam sebuah hubungan dua grup tak berdimensi.

Interpretasi data fluks pada keadaan tunak dalam bentuk hubungan bilangan tak berdimensi ( $R_f v / \Delta P$ ) dan ( $v^2 \rho / \Delta P$ ) dapat dijadikan dasar untuk mengestimasi parameter-parameter operasi proses *crossflow* mikrofiltrasi larutan xantan. Selama proses tidak terjadi *the long term fouling*. Polarisasi konsentrasi merupakan fenomena yang paling dominan mempengaruhi penurunan fluks permeat. Peningkatan kecepatan *crossflow* umpan merupakan salah satu cara yang digunakan untuk mengurangi fenomena tersebut. Namun demikian tidak ada kecepatan *crossflow* umpan kritis yang dapat dicapai dimana pengaruh polarisasi konsentrasi dan *fouling* dapat diabaikan.

### DAFTAR PUSTAKA

- Asaadi, M. dan D.A. White. 1992. A model for determining the steady state flux of inorganic microfiltration. *Chemical Eng. Journal*, 48: 11-16.
- Brambach, R. 1989. Studies in fouling during crossflow microfiltration in sintered stainless steel membranes. *Final Year Res. Report*. Department of Chemical Engineering. Imperial College, London.
- Belfort, G., R.H. Davis dan A.L. Zydney. 1994. The behavior of suspensions and macromolecular solutions in crossflow microfiltration. *Journal Membrane Sci.*, 96: 1-58.
- Charcosset, C. dan L. Choplin. 1996. Ultrafiltration of non-Newtonian fluids. *Journal Membrane Sci.*, 115: 147-160.
- Elmaleh, S. dan N. Ghaffor. 1996. Crossflow ultrafiltration of hydrocarbon and biological solid mixed suspensions. *Journal Membrane Sci.*, 118: 111-120.
- Fane, A.G., C.J.D. Fell dan M.T. Nor. 1982. Ultrafiltration in the presence of suspended matter. *Process Institute of Chemical Engineers Jubilee Symposium*. Institution of Chem. Engineers, Rugby.
- Green, G. dan G. Belfort. 1980. Fouling of ultrafiltration membranes lateral migration and the particle trajectory model. *Desalination*, 35:129-147.
- Lo, Y.M., S.T. Yang dan D.B. Min. 1996. Kinetic and feasibility studies of ultrafiltration of viscous xanthan gum fermentation broth. *Journal Membrane Sci.*, 117:237-249.
- Noor, E. 1994. Treatment of xanthan solution by crossflow microfiltration. PhD Thesis. Chemical Eng. Department, The University of Queensland, Australia.
- Zydney, A.L. dan C.K. Colton. 1986. A concentration polarisation model for filtrate flux in crossflow microfiltration of particulate suspension. *Chem. Eng. Commun.*, 47: 1-21.